



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE ADMINISTRAÇÃO

**ESTUDO DE UM MODELO LINEAR PARA A
PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EM EMPRESA
DO RAMO AGROINDUSTRIAL**

Alessandro Rafael Santarem

Lajeado, junho de 2016

Alessandro Rafael Santarem

ESTUDO DE UM MODELO LINEAR PARA A PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EM EMPRESA DO RAMO AGROINDUSTRIAL

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Curso II, na linha de formação específica em Administração de Empresas, do Centro Universitário Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Administração.

Orientador: Prof. Ms. William Jacobs

Lajeado, junho de 2016

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me dar saúde e força para seguir sempre na busca dos objetivos almejados.

Em especial, a minha esposa Tamires, que sempre me apoia, incentiva, e torce pelo sucesso de minhas escolhas, com muito carinho, amor e dedicação.

Ao Professor e Orientador Ms. William Jacobs, por sua dedicação e ajuda para o desenvolvimento desta monografia.

Aos Familiares e amigos, que sempre compreenderam minhas ausências devido aos estudos.

Aos Professores da Univates, pelos ensinamentos.

Também agradeço a Cooperativa Languiru Ltda., em especial a unidade da Agroindústria de suínos, juntamente com as pessoas que lá me recebem e auxiliaram, pela oportunidade de realizar meu trabalho na Empresa.

RESUMO

As mudanças que ocorrem a cada ano exigem cada vez mais que as empresas estejam preparadas para otimizar seus recursos produtivos e garantir sua competitividade. Este estudo tem como objetivo obter um modelo matemático de programação linear para a otimização da programação da produção em uma Agroindústria de suínos da Cooperativa Languiru Ltda. O estudo foi realizado na linha de produção dos produtos bacon e presunto, onde foram coletados os dados necessários para a utilização e validação do modelo, que após aplicado apresentou-se válido. A partir de dados históricos, comparou-se a programação da produção gerada pelo modelo com a programação realizada pela empresa, para que fosse então analisado o ganho com a sua utilização. O modelo não apresentou alterações quanto sua margem de contribuição porque as quantidades produzidas foram consideradas as mesmas nas duas situações. No entanto, o modelo encontrou uma solução que programa a produção de modo que otimiza os processos de forma satisfatória. Como considerações finais, obteve-se um modelo de programação linear aplicável, que gerou uma ferramenta de suporte às tomadas de decisões, fornecendo subsídios fundamentados na real capacidade de produção, contribuindo diretamente para o sucesso de seu Planejamento e Controle de Produção.

Palavras-chave: Programação da produção. Modelo matemático. Programação linear.

ABSTRACT

How Changes Occurring one year each require Increasingly that as companies are prepared paragraph optimize their productive resources and ensure competitiveness. This study aims to get um mathematical model of linear programming for optimization of Production Scheduling IN A Agroindústria Swine Cooperative Languiru Ltda. The Study was Conducted in Bacons Products Production Line and ham, Where Were collected the necessary data for a use and model validation, que APOS applied showed to be valid. The Historical Data From, compared to Schedule Generated Production hair model with a programming performed For the Company, for what were then analyzed the gain with YOUR use. The model presented NOT YOUR changes The margin contribution Because as quantities produced Were considered the same in both situations. However, the model found a solution que Mode of Production Program That Optimizes OS satisfactorily processes. As final considerations, it obtained hum Model Linear Programming APPLICABLE, which generated a support tool to decision making by providing real CAPACITY IN Subsidies based production, contributing directly to the Success of Your Production Planning and Control. Keywords: Production Scheduling. Mathematical model. Linear programming.

Keywords: Production Scheduling. Mathematical model. Linear programming.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Fluxo de produção do bacon e presunto.....	14
FIGURA 2 – Prazos, atividades e objetivos do sistema produtivo nas organizações.....	20
FIGURA 3 – Estrutura do controle de produção no curto prazo.	21
FIGURA 4 – Atividades de curto prazo do PCP.	22
FIGURA 5 – Relação entre ambientes e máquinas.....	24
FIGURA 6 – Modelagem do problema no Excel para o exemplo 1.	30
FIGURA 7 – Apresentação visual da janela de entrada de dados do Solver.....	31
FIGURA 8 – Resolução do problema do exemplo 1 através do Solver.	31
FIGURA 9 – Fluxograma do estudo.	37

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Diferenças entre os sistemas <i>Job Shop</i> e <i>Flow Shop</i>	25
QUADRO 2 – Variáveis de decisão e os parâmetros (Morton e Pentico).....	33
QUADRO 3 - Matriz de resultados do modelo de programação linear na programação diária	43

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Tabela de apoio processo de modelagem.....	28
TABELA 2 – Fórmulas utilizadas nas células da modelagem do problema	30
TABELA 3 – Levantamento de dados.....	41
TABELA 4 – Utilização da capacidade de fornecimento de matéria-prima.....	44
TABELA 5 – Utilização da capacidade de cada processo ou máquina para o produto bacon.	44
TABELA 6 – Utilização da capacidade de cada processo ou máquina para o produto presunto	45
TABELA 7 – Comparação de resultados pela função objetivo	46
TABELA 8 – Programação da produção do modelo versus programação real.....	47
TABELA 9 – Utilização da capacidade de fornecimento de matéria-prima nas semanas avaliadas.....	48
TABELA 10 – Utilização da capacidade de cada processo ou máquina.....	48
TABELA 11 – Utilização da capacidade de produção.....	50

LISTA DE SIGLAS

APR - Administração da Produção

ICR - Índice Crítico

MDE - Menor data de entrega

MP - Matéria-prima

MTP - Menor tempo de processamento

PCP - Planejamento e Controle da Produção

PD - Prioridade definida

PEPS - Primeiro que entra é o primeiro que sai

PL - Programação Linear

PMP - Plano Mestre de Produção

PO - Pesquisa Operacional

PP - Programação da Produção

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Tema	13
1.2 Problema	13
1.3 Objetivos	15
1.4 Justificativa.....	15
1.5 Delimitação do estudo	17
1.6 Estrutura da monografia.....	17
 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	 19
2.1 Planejamento e Controle da Produção (PCP)	19
2.2 Programação da Produção.....	22
2.3 Programação Linear	25
2.4 Modelos de programação linear para a programação da produção	32
2.5 Validação do modelo matemático.....	34
 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	 36
3.1. Delineamento da pesquisa	36
3.2 Planejamento do método.....	37
 4 MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA A PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO	 39
4.1 Definição do modelo matemático de programação linear	39
4.2 Dados de entrada para aplicação do modelo de programação linear	41
 5 APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO E ANÁLISE DOS RESULTADOS ...	 43
5.1 Simulação do modelo para identificar capacidade e limitantes de produção	43
5.2 Validação do modelo matemático.....	45
5.3 Aplicação do modelo matemático	46
 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	 52

REFERÊNCIAS.....55

1 INTRODUÇÃO

A cada ano que passa, as empresas têm vivenciado grandes mudanças, as quais têm transformado a forma pela qual as indústrias devem operar para garantir a manutenção de sua competitividade.

Com o aumento dessa competitividade, as empresas tendem a rever suas estratégias para a tomada das decisões em relação a sua produção, de forma cada vez mais rápida, ou seja, muitas dessas mudanças precisam ser realizadas no curto prazo. Quando isso, ocorre se faz necessário o uso de ferramentas que possam auxiliar nas melhores tomadas de decisões.

No que tange aos processos produtivos, essas decisões na maioria das vezes envolvem questões como as seguintes: redução de custos, maior produtividade, melhor ocupação de sua capacidade de produção, entre outros.

Nesse contexto, a presente monografia apresenta seu objeto de estudo voltado a oferecer ferramentas de auxílio para tomadas de decisões ótimas e ágeis, assim como uma possível visualização de cenários de produção, através da programação da produção, de forma a otimizar o sistema de uma linha de produção através de um modelo de programação linear.

Com isso, poderá avaliar e aproveitar de forma satisfatória os seus recursos instalados na indústria da empresa objeto deste estudo, melhorando a eficiência de seu sistema produtivo.

1. Tema

Estudo de um modelo de programação linear para a programação das ordens de produção em sistema de produção do tipo *flow shop*.

1.2 Problema

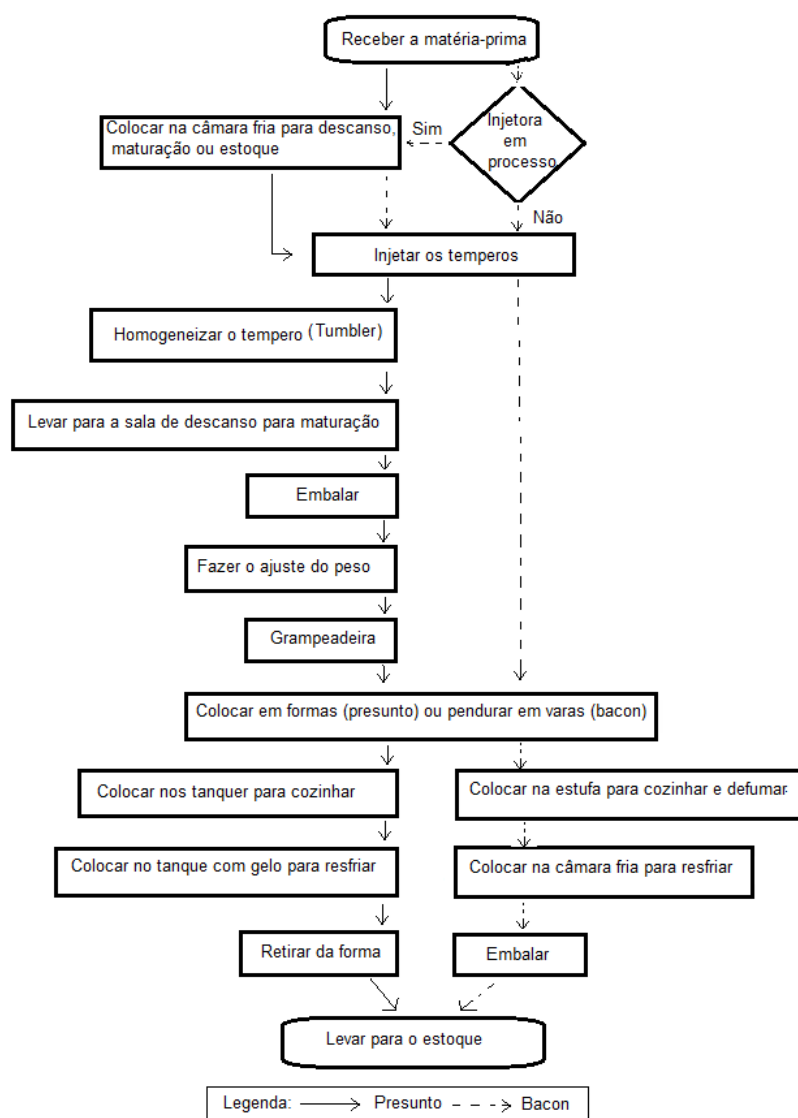
A Agroindústria de suínos, na qual este trabalho foi realizado, possui uma gama de produtos alimentícios apresentados como: mortadelas, presunto, apresuntados, linguiças, bacon, e diversos cortes de carne suína. Porém retrataram-se para este estudo apenas os produtos bacon e presunto.

O sistema de produção de bacon e presunto é organizado em linha, onde todos os recursos transformadores estão posicionados conforme as etapas de fabricação dos produtos. Em alguns momentos, os produtos podem compartilhar os mesmos recursos, como é o caso da câmara fria de descanso, maturação ou estoque, onde o produto bacon pode ser estocado caso a injetora esteja em processo com outro lote ou outro produto.

Os produtos seguem um mesmo roteiro de produção, com isso identifica-se que o sistema, ou ambiente ao qual o trabalho terá seu direcionamento de estudo é um *flow shop* (BAKER, 1997). No sistema em estudo, os produtos não voltam às operações ou tarefas anteriores, ou seja, uma vez executada a tarefa no processo 1, esta operação está concluída para este processo. Com isso, torna-se necessária a utilização da programação da produção, de modo a organizar ou administrar a produção, onde cada etapa deve ser conhecida, tendo os seus responsáveis pela execução, ferramentas auxiliares eficientes.

A produção de bacon e presunto na empresa objeto do presente estudo é composta por uma série de etapas, conforme pode ser visto na Figura 1.

Figura 1- Fluxo de produção do bacon e presunto



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Cada produto possui suas características que podem ser diferenciadas quanto ao tempo de produção, tempo de parada para limpeza ou troca de produto (*setup*), tempo de processamento em cada etapa, tamanho do lote de produção, demanda, necessidade de mão de obra, necessidade de matérias-primas, entre outras, acarretando em uma série de restrições e até mesmo dificultando a tomada de decisões sobre qual produto produzir.

Desta forma, coloca-se a questão para esta pesquisa: como elaborar o melhor modelo de programação linear para a programação da produção de bacon e presunto na empresa objeto deste estudo?

1.3 Objetivos

O objetivo deste estudo é identificar e definir um modelo matemático de programação linear que possa otimizar a programação das ordens de produção numa linha de produção de bacon e presunto, de forma a atender a demanda pelos produtos e as restrições do processo produtivo.

Para tanto, pode-se desdobrar o objetivo geral nos seguintes objetivos específicos:

- Pesquisar na literatura relacionada ao Planejamento e Controle da Produção, o tema programação da produção por meio de modelos matemáticos de programação linear, para construir a base teórica do estudo;
- Apresentar os principais modelos de programação linear para otimização da programação da produção e definir o modelo a ser utilizado no estudo;
- Analisar o resultado obtido com o modelo que será proposto, em relação aos resultados que o processo atual gera;
- Propor ações a partir do estudo realizado para melhorar o desempenho do processo no critério utilizado.

1.4 Justificativa

A competitividade entre as empresas é cada vez mais crescente. Segundo Porter (1991), é necessário desenvolver uma estratégia competitiva, definindo de que maneira a empresa irá competir. Para que isso ocorra, um dos pontos que se torna necessário é que a empresa conheça bem sua indústria ou a capacidade de

produção instalada nela, de forma a identificar suas características estruturais possibilitando a formulação dessas estratégias.

Segundo Coutinho e Ferraz (2002), existem estratégias de competitividade que estão ligadas aos fatores internos à empresa, ou seja, podem estar associadas ao domínio de certas tecnologias, controle da capacidade de produção, competência operacional de seus recursos humanos, capacidade de atender a qualidade e os seus clientes.

Tendo em vista o fator interno citado acima, observa-se um horizonte de oportunidades, pois possibilitam a implantação de trabalhos para melhorar sua produtividade interna, podendo ser criadas ferramentas que possibilitam as melhores tomadas de decisão, uma vez que as empresas precisam encontrar meios que garantam sua permanência e a conquista de novas fatias de mercado.

Antes mesmo de quaisquer investimentos na aquisição de novos equipamentos a fim de aumentar a produtividade, recomenda-se o estudo de formas para realizar o melhor aproveitamento possível da capacidade já existente, ativando a importância do PCP, que tem o papel de buscar ferramentas que gerem melhores tomadas de decisões para essa otimização (TUBINO, 2008).

Diante das características que envolvem o processo de produção, se torna necessário e indispensável o desenvolvimento de técnicas de otimização, que também contribuem para a substituição das análises subjetivas e intrínsecas na alocação dos recursos e no planejamento das operações (PIZZOLATO; GANDOLPHO, 2009).

Este trabalho aborda os processos de produção do bacon e presunto. O motivo por abordar esta linha de produção da agroindústria no presente estudo baseia-se no seguinte: na grande quantidade produzida destes produtos, por ser um dos gargalos de produção apresentados pela empresa e ir ao encontro a uma necessidade da empresa que relatou ter iniciado um trabalho semelhante nesta mesma linha de produção, porém sem êxito.

Segundo Pizzolato e Gandolpho (2009), quando se otimiza o processo através de uma programação apropriada, obtém-se ganhos pela redução dos

tempos improdutivos, que consequentemente gera um melhor aproveitamento de todo o sistema de produção. Aumenta-se a confiabilidade do processo pela previsibilidade da conclusão das tarefas, além de possibilitar um maior acompanhamento, controle e monitoria do processo.

No problema em estudo será utilizada a programação linear, uma vez que se precisa de respostas quantitativas que permitam encontrar soluções rápidas e ótimas, dentro dos recursos disponíveis na empresa (LISBOA, 2002).

O estudo justifica sua importância uma vez que, otimizando os processos produtivos através de um modelo de programação da produção, estará satisfazendo assim sua necessidade de criar estratégias competitivas, gerando ferramentas para reduzir os custos ou maximizar sua margem de contribuição, utilizando-se de seus recursos próprios.

1.5 Delimitação do estudo

Este estudo foi aplicado em uma linha de produção de bacon e presunto do setor de embutidos da Agroindústria de suínos da Empresa Cooperativa Languiru Ltda., localizada no Município de Poço das Antas – RS.

1.6 Estrutura da monografia

O Capítulo 1 desta monografia apresenta a introdução e as considerações iniciais sobre o tema, o problema, as hipóteses, objetivos, justificativa, delimitação do tema e a forma de como o trabalho foi estruturado.

O Capítulo 2 é destinado à fundamentação teórica, onde busca explorar temas pertinentes ao escopo do trabalho para posterior desenvolvimento.

O Capítulo 3 refere-se à metodologia da pesquisa proposta para o trabalho, a ser aplicada para obtenção dos dados.

O Capítulo 4 refere-se ao modelo matemático de programação linear, utilizado para obtenção dos resultados deste trabalho.

O Capítulo 5 refere-se à aplicação do modelo matemático e análise dos resultados.

O Capítulo 6 refere-se às considerações finais desta monografia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são abordados assuntos com o objetivo de fornecer uma introdução conceitual importante para o entendimento do trabalho como: o Planejamento e Controle da Produção, a Programação da Produção, Programação Linear e Modelos de programação linear para a programação da produção.

2.1 Planejamento e Controle da Produção (PCP)

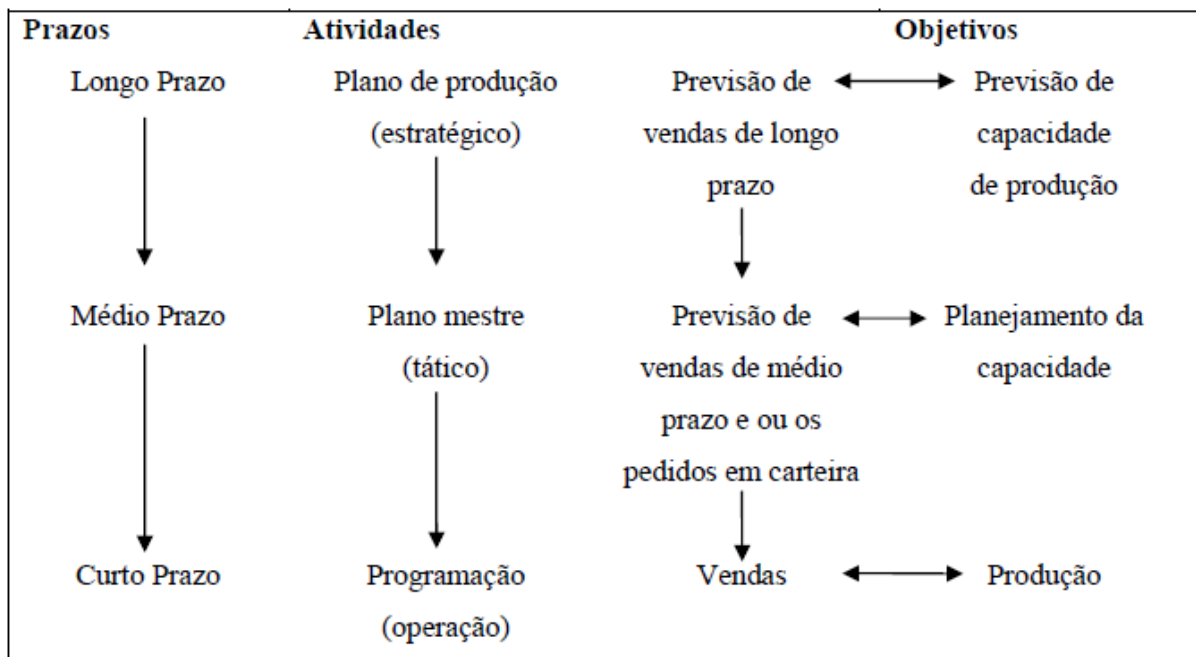
Para Moreira (2008), administração da produção significa lidar com os meios de produção, a matéria-prima, mão de obra e os equipamentos, para obter bens (produtos ou serviços) de qualidade e na quantidade possível, quanto à capacidade de seus recursos produtivos, que quando utilizados de forma eficiente geram uma forte contribuição para a competitividade da empresa. Rocha (1995) complementa essa ideia, destacando a importância de extrair dessa combinação o melhor proveito, objetivando melhorias no desempenho do processo produtivo das empresas.

A forma de administrar os recursos produtivos deve estar diretamente ligada à estratégia da empresa, que quanto mais eficaz for a estratégia e quanto mais o PCP estiver alinhado a essa, mais competitiva a empresa se torna.

Segundo Tubino (2000), o Planejamento e Controle da Produção (PCP) é uma área que tem a função de coordenar e aplicar da melhor forma os recursos da

Empresa, de modo a atender os planos estabelecidos para a produção da melhor forma possível, atendendo os níveis estratégicos no longo prazo, tático no médio prazo e operacional no curto prazo. Na Figura 2 pode-se observar esses prazos, relacionando-os com suas atividades e objetivos.

Figura 2 - Prazos, atividades e objetivos do sistema produtivo nas organizações



Fonte: Adaptado de Tubino (2008).

No horizonte de longo prazo, tem-se o Plano de Produção como atividade estratégica, tendo por objetivo obter o plano agregado de produção ao menor custo possível (TUBINO, 2008).

No médio prazo, encontram-se as atividades de cunho tático, que direcionam a programação dos insumos de acordo com as estratégias anteriormente previstas no Plano de Produção. Neste caso tem-se o Plano Mestre de Produção (PMP), que segundo Corrêa, Gianesi e Caon (1997) é direcionado para a operacionalização da produção, analisando os produtos de forma individual, assim como emprega uma unidade de planejamento mais curta, de semanas a no máximo meses.

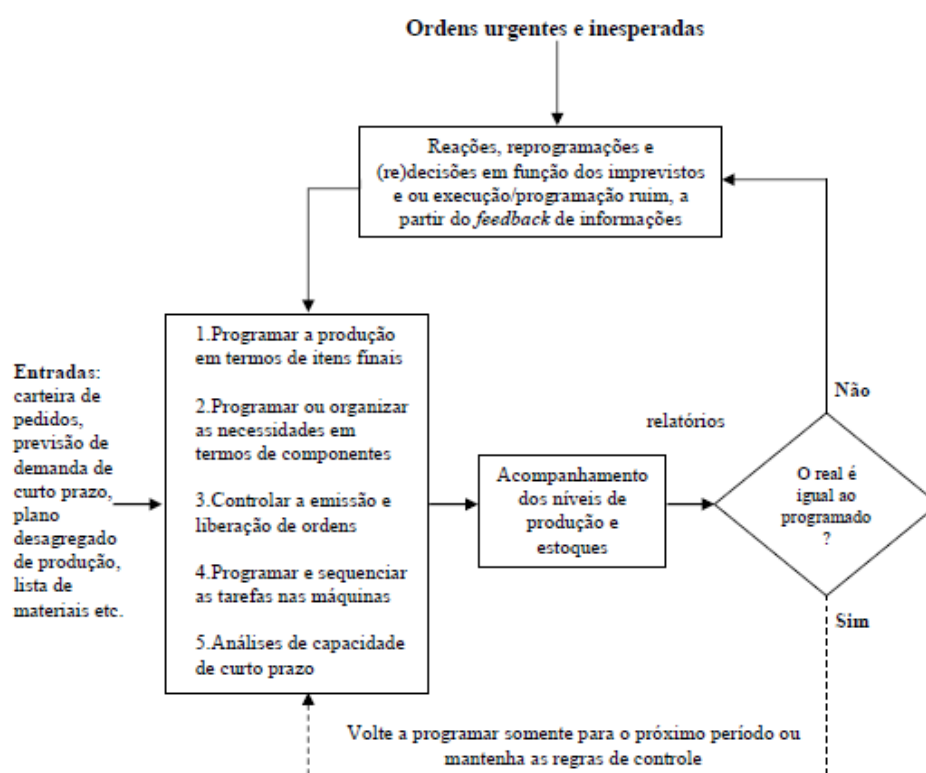
Com os níveis de longo e médio prazo estabelecidos e organizados, dá-se início a operacionalização da produção, responsável por produzir os bens e serviços que são destinados aos clientes. Esta etapa é de curto prazo e compreende as

seguintes atividades: escala de produção, prioridades de produção, programação da produção, sequenciamento de produção, entre outros (TUBINO, 2008).

Conforme destaca Tubino (2008, p. 2), “um sistema produtivo será tão mais eficiente quando conseguir sincronizar a passagem de estratégias para táticas e de táticas para operações de produção e venda dos produtos solicitados”.

Para Slack, Chambers e Johnston (2009), deve existir um equilíbrio entre as atividades do PCP, pois facilitará pequenos desvios dos programas iniciais, caso ocorra alguma eventual mudança no planejamento, tornando-se indispensável o controle da Produção, principalmente para que alterações no curto prazo, quando assim necessárias, tornem-se mais fáceis. A Figura 3 apresenta a estrutura do Controle de Produção.

Figura 3 - Estrutura do controle de produção no curto prazo



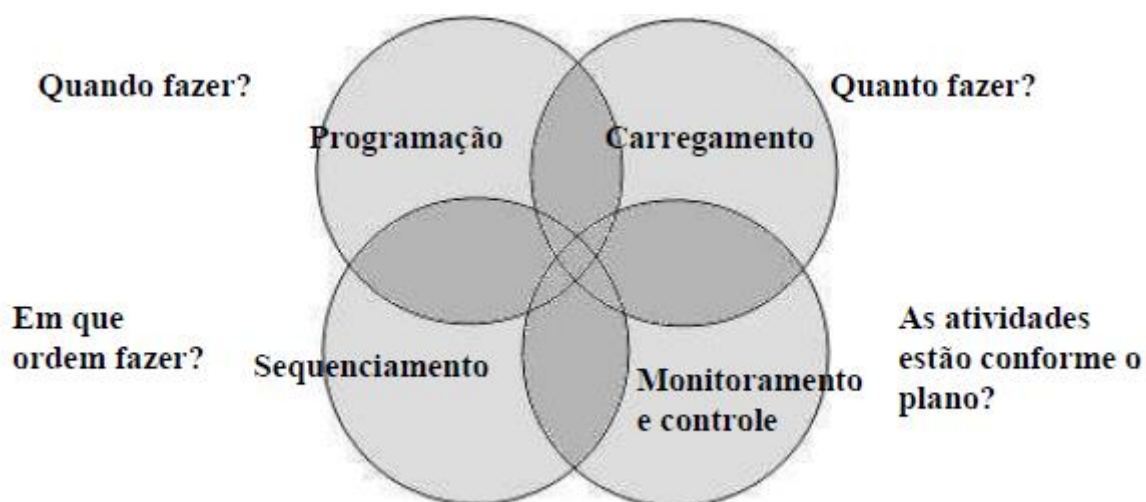
Fonte: Adaptado de Fernandes e Godinho Filho (2010).

Fernandes e Godinho Filho (2010) destacam de forma resumida as principais atividades do PCP, destacando: a previsão da demanda; desenvolvimento do plano de produção agregado; realização do planejamento da capacidade de produção;

desagregação do plano agregado; análise do plano mestre de produção; controle ou programação das necessidades em termos de componentes e materiais; controle da emissão e liberação das ordens de produção; controle dos estoques e; programação e sequenciamento das tarefas nas máquinas.

Slack, Chambers e Johnston (2009) identificam algumas atividades de curto prazo do PCP que se sobrepõem como demonstra a Figura 4.

Figura 4 - Atividades de curto prazo do PCP



Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2009).

Na Figura 4, o carregamento é a quantidade de trabalho a ser processada; o sequenciamento define em que ordem as etapas devem ser executadas; a programação define a sequência de execução das tarefas, estabelecendo um cronograma que indique o início e o fim dos trabalhos e o controle monitora de forma a garantir que de fato o planejamento esteja ocorrendo (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

2.2 Programação da Produção

Chase et al. (2006) afirmam que a programação da produção (PP) está no centro do sistema de execução da manufatura, onde programa, despacha, monitora e realiza o controle das atividades do chão de fábrica. Davis, Aquilano e Chase

(2001) destacam a distribuição do tempo usado para programar as atividades utilizando recursos e alocando instalações.

Para Russomano (1995), a PP determina com antecedência o programa de produção dos vários produtos que a empresa produz, apresentando o que ela deve produzir, expressando em quantidades e datas, levando em consideração a carteira de pedidos, disponibilidade de materiais, capacidade e recursos disponíveis, de forma a estabelecer a melhor estratégia da produção.

Segundo Chiavenato (1990), a programação da produção possui os objetivos de coordenar e integrar os órgãos envolvidos direta ou indiretamente no processo produtivo, garantir os prazos de entrega, garantir a disponibilidade de matéria-prima (MP) e outros componentes envolvidos, distribuir de forma proporcional a carga de trabalho dos diversos órgãos produtivos, aproveitar o máximo da capacidade instalada, bem como todo o capital aplicado em matérias-primas, produtos acabados e materiais em processamento e estabelecer através das ordens de produção, os padrões de controle para poder avaliar o seu desempenho.

Conforme Slack, Chambers e Johnston (2009), a programação assume uma das tarefas mais complexas no gerenciamento da produção, lidando com diversos tipos diferentes de recursos de forma simultânea, onde as máquinas têm diferentes capacidades e as pessoas que as operam tem diferentes habilidades.

Lustosa et al. (2008) destacam a importância de identificar e diferenciar os tipos de ambientes de produção e programação, os autores consideram os principais tipos os seguintes: com máquina única, máquinas em paralelo e máquinas em série.

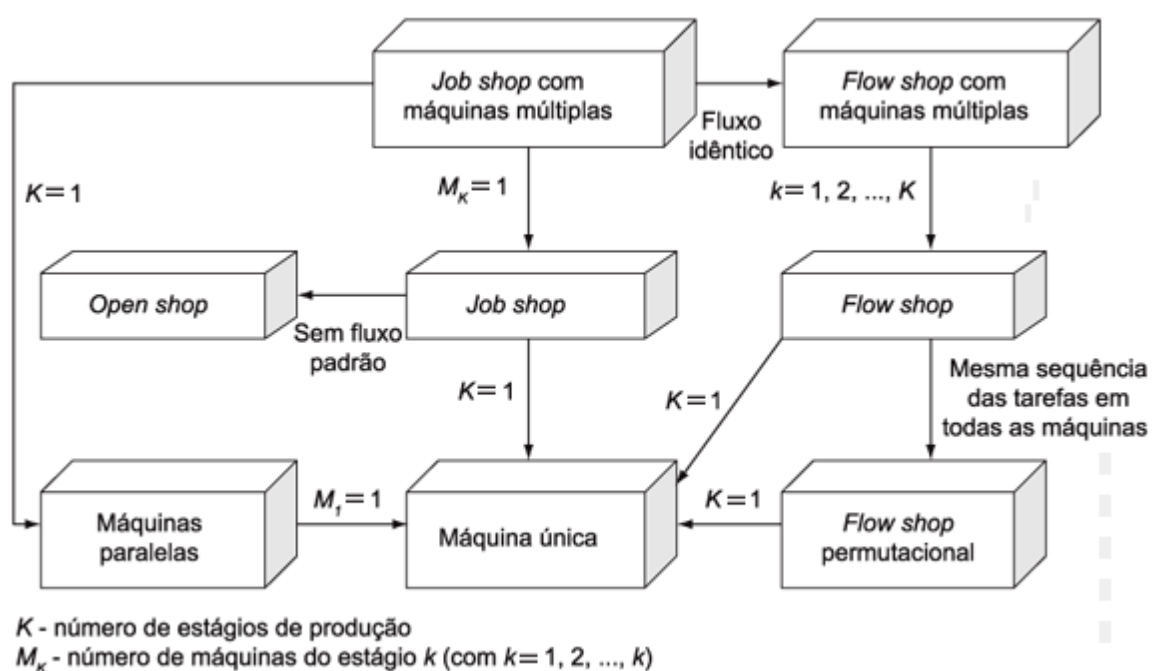
No ambiente com máquina única, as “n” ordens são processadas em uma única “m” máquina. Esta situação se torna complexa, representando situações mais comuns quando a programação estiver subordinada a um recurso gargalo, neste caso analisa-se uma máquina individualmente (LUSTOSA et al., 2008).

No ambiente com máquinas paralelas, as “n” ordens são processadas em “m” máquinas semelhantes. Neste caso, devem-se determinar quais ordens deverão ser alocadas em quais máquinas e qual sequência em que as “n” ordens serão processadas (LUSTOSA et al., 2008).

No ambiente com máquinas em série, as “n” ordens são processadas em “m” máquinas, onde cada “n” ordem tem seu tempo de operação determinado em cada uma das “m” máquinas. Essa configuração pode ser encontrada em linhas de produção, cujo fluxo da produção é conduzido de forma a estabelecer um roteiro fixo (*flow shop*). Neste caso, o *layout* do processo produtivo conduz os produtos na mesma sequência do roteiro de produção, que apresenta duas situações: uma em que todas as “n” ordens passam por todas as “m” máquinas ou processos (roteiro idêntico) e outra em que algumas “n” ordens não necessitam passar por todas as “m” máquinas ou processos (roteiros variáveis) (LUSTOSA et al., 2008).

Na Figura 5 ilustram-se alguns desses conceitos, facilitando o entendimento entre os diferentes ambientes e as quantidades de máquinas.

Figura 5 - Relação ente ambientes e máquinas



Fonte: Adaptado de Maccarthy e Liu (1993).

Os principais elementos que devem ser considerados para programação da produção são os recursos disponíveis, tarefas que devem ser realizadas e suas características, processo produtivo e ordem das tarefas e o objetivo de desempenho a ser priorizado, considerando os sistemas *Job shop* e *Flow shop*, conforme mostra o Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 - Diferenças entre os sistemas *Job Shop* e *Flow Shop*

<i>Job Shop</i>	<i>Flow Shop</i>
Opera em lotes.	Opera em um fluxo de materiais e peças.
Varia a produção variando o tamanho dos lotes ou frequência dos lotes.	Varia a produção alterando a taxa de produção.
Tende a ter custos maiores de <i>setup</i> .	Tende a ter custos menores de <i>setup</i> .
Materiais são trazidos para os departamentos ou centros de trabalho onde cada operação é realizada. Filas nos centros de trabalho são maiores.	As operações de tipos diferentes são sequenciadas de modo que o fluxo seja mantido. Filas são pequenas e variações têm que ser acompanhadas.
Utilização de equipamentos de uso geral.	Utilização de equipamentos de uso especializado.

Fonte: Adaptado de Fernandes e Godinho Filho (2010).

Para Baker (1997), em um ambiente *flow shop*, cada “n” tarefa tem sua própria sequência no processamento, seguindo um fluxo fixo que segue uma única direção, onde cada tarefa somente pode ser atendida por uma máquina de cada vez, essa máquina só pode atender uma tarefa por vez e a tarefa não retorna à máquina anterior. Desta forma, no ambiente *flow shop* as “n” tarefas devem ser programadas para as “m” máquinas distintas, tendo o mesmo roteiro de produção.

Conforme Pinedo (2002), no ambiente *job shop*, cada “n” tarefa tem uma rota pré-determinada, seguindo fluxos diferentes, onde cada “n” tarefa pode ser atendida por uma ou outra “m” máquina, apresentando um roteiro de produção diferente para cada produto.

Para Corrêa, Giansesi e Caon (2011), a programação da produção aborda um planejamento de curto prazo, onde a programação linear consiste em alocar as atividades no tempo, seguindo um conjunto de restrições consideradas.

2.3 Programação Linear

Para Caixeta (2001), a Pesquisa Operacional (PO) é um ramo da Matemática aplicada, apresenta uma característica fundamental que facilita o processo de tomada de decisões em um sistema industrial, pois permite que as decisões sejam

avaliadas antes de serem implementadas, através de um modelo matemático que represente o cenário a ser estudado.

Conforme Lisboa (2002), a confiabilidade dos resultados obtidos no modelo dependerá de sua validação na representação do sistema real, ou seja, a confirmação de que representa a realidade dos dados que compõem o modelo, necessitando, desta forma, uma precisão em descrever o comportamento original do sistema. Arenales et al. (2007) completam a ideia destacando que a PO trata de problemas de decisão, onde faz uso de modelos que procuram “imitar” um problema real.

Desta forma, a PO tem afinidade com a Administração da Produção, uma vez que fornece um grande número de ferramentas quantitativas para a tomada de decisões (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001).

Segundo Fernandes e Godinho Filho (2010, p.3), “a técnica mais utilizada de PO é a **programação linear**. Ela é aplicada a modelos cujas funções objetivo e restrições são lineares”.

A Programação Linear (PL) é uma ciência com o objetivo de apresentar ferramentas quantitativas para o processo de tomada das decisões, permitindo estabelecer uma solução ótima para os problemas (PRADO, 1999).

Conforme Lisboa (2002), a PL se define por planejar as atividades de modo a obter um resultado ótimo, ou seja, atendendo da melhor forma possível um determinado objetivo.

Historicamente, a programação linear se consolidou com o desenvolvimento do algoritmo *simplex*, por George Dantzing, no ano de 1947, quando desenvolvia técnicas de otimização para a força aérea americana.

A PL demonstra-se importante para o processo de tomada de decisões organizacionais, uma vez que suas ferramentas auxiliam os processos atribuídos ao PCP, citados no subcapítulo 2.2. Para Corrar e Theófilo (2004), a PL é um dos mais importantes instrumentos da PO, que fornece um conjunto de procedimentos com a finalidade de resolver problemas que envolvam escassez de recursos.

Para Caixeta (2001), a PL é capaz de identificar os melhores resultados para uma função objetivo, descrevendo a relação dos fatores da produção, considerando as restrições e recursos existentes no processo.

Ehrlich (1985) considera a PL uma ferramenta indispensável para as organizações, pois seleciona as atividades (variáveis de decisão) que devem ser empreendidas, essas que competem entre si pela utilização dos recursos escassos (restrições), tendo o objetivo de maximizar (ou minimizar) uma função das atividades, geralmente lucros (ou perdas).

A técnica mostra-se muito eficiente, mesmo após sete décadas, uma vez que, muitas empresas fazem de seu uso, uma ferramenta para atingir suas metas. Conforme o autor:

é comum vermos aplicações de PL fazerem parte das rotinas diárias de planejamento das mais variadas empresas, tanto nas que possuem uma sofisticada equipe de planejamento como nas que simplesmente adquirem um *software* para alguma função de planejamento (PRADO, 2012, p. 15-16).

Segundo Medeiros et al. (2004), a Programação Linear descreve modelos que buscam distribuir de forma eficiente os recursos limitados, afim de atender um determinado objetivo, em geral maximizar ou minimizar os custos. Na PL o objetivo que é expresso recebe o nome de Função Objetivo.

Lachtermacher (2009, p.17) apresenta o modelo genérico programação linear conforme segue:

$$\text{Otimizar: } Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

$$\text{Sujeito a: } \left. \begin{array}{c} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{array} \right\} \begin{array}{c} \leq \\ \\ = \\ \geq \end{array} \left\{ \begin{array}{c} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{array} \right. \quad (3)$$

Onde:

x_j – representa as quantidades das variáveis utilizadas ($j = 1, 2, \dots, n$);

b_i – representa a quantidade de um determinado recurso ($i = 1, 2, \dots, m$);

X – vetor de (x_1, x_2, \dots, x_n) ;

$f(x)$ – função-objetivo;

$g_i(x)$ – funções utilizadas nas restrições do problema ($i = 1, 2, \dots, m$);

n – número de variáveis de decisão;

m – número de restrições do modelo;

Para Medeiros et al. (2004), diversas são as formas de distribuir os recursos escassos, no entanto a PL busca a solução ótima por meio da manipulação de modelos de programação linear, constituído de função objetivo e restrições lineares.

Para o melhor entendimento sobre o estudo do modelo de PL, será apresentado um exemplo de modelagem adaptado de Lanchtermacher (2009, p.33).

Exemplo 1: um agricultor tem uma fazenda com 200 km², onde planeja cultivar trigo, arroz e milho. A produção esperada é de 1.800 kg por km² plantado de trigo, 2.100 kg por km² plantado de arroz e 2.900 kg por km² plantado de milho. Ele tem condições de armazenar no máximo 700.000 kg de qualquer um dos produtos. Sabendo que o trigo dá um lucro de R\$1,20 por kg, o arroz R\$0,60 e o milho R\$0,28, determine quantos km² de cada produto devem ser plantados para maximizar o lucro do agricultor.

Para melhor visualização dos dados citados no exemplo 1, elabora-se uma tabela de apoio para o problema.

Tabela 1 - Tabela de apoio processo de modelagem

Restrições	X1 (trigo)	X2 (arroz)	X3 (milho)	Recurso máximo disponibilizado
Cap. Armazenamento	1800	2100	2900	≤ 700.000 kg
Total área de terras	1	1	1	≤ 200 km ²
Lucro \$/kg	R\$ 1,20	R\$ 0,60	R\$ 0,28	
Lucro \$/km ²	R\$ 2.160,00	R\$ 1.260,00	R\$ 812,00	

Fonte: Adaptado de Taha (2009).

Para Taha (2009), a primeira etapa é a definição das variáveis:

x_1 é quantidade total em km^2 a ser plantada com trigo;

x_2 é quantidade total em km^2 a ser plantada com arroz;

x_3 é quantidade total em km^2 a ser plantada com milho;

Taha (2009) considera em segundo passo definir a função-objetivo, neste caso, a maximização do lucro total, determinando quantos km^2 o agricultor deverá plantar de cada cultura.

Lucro total do trigo = $x_1 * \text{R\$ } 2.160,00$;

Lucro total arroz = $x_2 * \text{R\$ } 1.260,00$;

Lucro total milho = $x_3 * \text{R\$ } 812,00$;

No terceiro passo, Taha (2009) define as restrições, estes passos não necessariamente precisam estar nessa ordem.

A primeira restrição é referente a área total= $x_1+x_2+x_3 \leq 200 \text{ km}^2$ (4)

A segunda restrição é referente à capacidade de armazenamento =

$1.800x_1 + 2.100x_2 + 2.900x_3 \leq 700.000 \text{ kg}$ (5)

Taha (2009) descreve que uma restrição implícita ou subentendida é quando as variáveis x_1 e x_2 não podem assumir valores negativos, são chamadas de **restrições de não-negatividade**, neste caso a equação 9.

A modelagem completa para o problema corresponde:

Maximização $Z = 2160x_1 + 1260x_2 + 812x_3$ (6)

Sujeito às restrições: $x_1+x_2+x_3 \leq 200$ (7)

$1.800x_1 + 2.100x_2 + 2.900x_3 \leq 700.000$ (8)

$x_1, x_2 \leq 0$ (9)

O modelo citado no subcapítulo anterior terá sua resolução pela ferramenta Solver.

Figura 6 - Modelagem do problema no Excel para o exemplo 1

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Função	Coeficientes das variáveis						
2	Objetivo	x_1	x_2	x_3				
3		2160	1260	812				
4	Variáveis	0	0	0				
5	Max Z	0						
6								
7								
8	Restrições	x_1	x_2	x_3	LHS	Sinal	RHS	Descrição da restrição
9	r1	1800	2100	2900	0	<=	700000	capacidade máxima de armazenagem (kg)
10	r2	1	1	1	0	<=	200	área máxima para o plantio (km ²)

Fonte: Adaptado de Fernandes e Godinho Filho (2010).

Nessa planilha, as células designam cada uma das entidades citadas anteriormente:

- B5 representará a função-objetivo a ser maximizada;
- B4, C4 e D4 representarão os valores que as variáveis de decisão assumirão na decisão;
- E9 e E10 representarão os LHS das restrições;
- G9 e G10 representarão os RHS das restrições;

As células B3, C3 e D3 são utilizadas para inserir os valores dos coeficientes da função-objetivo, e as células B9 até D10 representam os coeficientes das duas restrições (Lanchtemacher, 2009). A Tabela 2 apresenta as fórmulas utilizadas em cada uma das células.

Tabela 2 - Fórmulas utilizadas nas células da modelagem do problema

B5	= SOMARPRODUTO(B3:D3;B4:D4)	Função-objetivo
E9	= SOMARPRODUTO(B9:D9;\$B\$4:\$D\$4)	LHS da 1ª restrição
E10	= SOMARPRODUTO(B10:D10;\$B\$4:\$D\$4)	LHS da 2ª restrição

Fonte: adaptado de Lanchtemacher (2009).

A Figura 7 apresenta a ferramenta Solver em sua forma padrão, já com os dados inclusos do exemplo1.

Figura 7 - Apresentação visual da janela de entrada de dados do Solver

Definir Objetivo:

Para: ☒ Máx. ☐ Mín. ☐ Valor de:

Alterando Células Variáveis:

Sujeito às Restrições:

\$E\$10 <= \$G\$10
\$E\$9 <= \$G\$9

☒ Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas

Selecionar um Método de

Método de Solução
Selecione o mecanismo GRG Não Linear para Problemas do Solver suaves e não lineares. Selecione o mecanismo LP Simplex para Problemas do Solver lineares. Selecione o mecanismo Evolutionary para problemas do Solver não suaves.

Ajuda Resolver Fechar

Fonte: Adaptado de Fernandes e Godinho Filho (2010).

Figura 8 - Resolução do problema do exemplo1 através do Solver

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Função	Coeficientes das variáveis						
2	Objetivo	x_1	x_2	x_3				
3		2160	1260	812				
4	Variáveis	200	0	0				
5	Max Z	432000						
6								
7								
8	Restrições	x_1	x_2	x_3	LHS	Sinal	RHS	Descrição da restrição
9	r1	1800	2100	2900	360000	<=	700000	capacidade máxima de armazenagem (kg)
10	r2	1	1	1	200	<=	200	área máxima para o plantio (km ²)

Fonte: Adaptado de Fernandes e Godinho Filho (2010).

Com base em Lanchtemacher (2009), a interpretação do modelo é dada da seguinte forma: para o agricultor maximizar seu lucro total em R\$ 432.000,00, deverá realizar somente o plantio da cultura do trigo, alocando 100% de sua área, de 200 km². Desta forma ocupará somente 360.000 kg de uma capacidade de estocagem de 700.000 kg, ou apenas 51%.

2.4 Modelos de programação linear para a programação da produção

Fernandes e Godinho Filho (2010) apresentam um dos problemas de programação e possível modelo de solução, que será apresentado com o intuito de contribuição para o presente estudo e entendimento para posterior modelagem ou análise do melhor modelo que atenda o objetivo deste trabalho, da mesma forma, para os demais apresentados neste capítulo.

Programar n tarefas/ uma máquina/ minimizar o tempo total de preparação que é dependente da sequência.

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se a tarefa } j \text{ sucede a tarefa } i; \\ 0, & \text{caso contrário;} \end{cases}$$

(10)

S_{ij} = tempo de preparar a máquina para produzir a tarefa j , sendo que a última tarefa realizada foi a i ;

S_{ii} = valor bem grande em relação aos demais S_{ij} para forçar $X_{ii} = 0$ (tarefa i não pode suceder a própria tarefa i);

X_0 = tempo total de preparação;

Tarefa 0 é a tarefa fictícia para determinar qual será a primeira tarefa. Se $X_{03} = 1$, então a tarefa 3 será a primeira.

$$\text{Minimizar } X_0 = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n S_{ij} X_{ij} \quad (11)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=0}^n X_{ij} = 1 \text{ para } j = 0, 1, \dots, n \text{ \{toda tarefa sucede alguma tarefa\}} \quad (12)$$

$$\sum_{j=0}^n X_{ij} = 1 \text{ para } i = 0, 1, \dots, n \text{ \{toda tarefa sucede alguma tarefa\}} \quad (13)$$

Morton e Pentico (1993) sugerem uma modelagem matemática para ambientes *flow shop* com múltiplas máquinas, onde utilizam o *makespan* como função objetivo. O Quadro 2 apresenta as seguintes variáveis de decisão e os parâmetros do modelo.

Quadro 2 - Variáveis de decisão e os parâmetros (Morton e Pentico)

$x_{j,k,t}$	Variável de decisão binária, que assume o valor de 1, se a tarefa j , é atendida na máquina k no período t , e zero, caso contrário;
$c_{j,k}$	Intervalo de conclusão da tarefa j na máquina k ;
$c_{j,k,t}$	Variável de decisão que assume o valor 1, se $c_{j,k} = t$, e zero, caso contrário.
c_m	Variável de decisão que expressa o instante de conclusão de todas as tarefas.
$p_{j,k}$	Tempo de processamento da tarefa j na máquina k .
T	Número total de períodos de tempo no modelo.
r_j	Instante de chegada da tarefa j .
a_k	Instante em que a máquina k fica disponível.
n	Número de tarefas.

Fonte: Adaptado de Morton e Pentico (1993).

O modelo matemático proposto é o seguinte:

$$\text{Min } (c_m)$$

Sujeito as seguintes restrições:

$$c_{j,k} = \sum_{t=1,T} t \cdot c_{j,k,t} \quad \text{para todo } j,k \quad (14)$$

$$X_{j,k,t} = \sum_{u=t, t+p_{j,k}-1} c_{jku} \quad \text{para todo } j,k,t \quad (15)$$

$$c_m \geq c_{j,m} \quad \text{para todo } j \quad (16)$$

$$c_{j,1} \geq r_j + p_{j,1} \quad \text{para todo } j \quad (17)$$

$$c_{j,k} \geq c_{j,k-1} + p_{j,k} \quad \text{para todo } j,k \quad (18)$$

$$\sum_{j=1,n} X_{j,k,t} \leq 1 \quad \text{para todo } k,t \quad (19)$$

$$X_{j,k,t} = 0 \quad t < a_k \quad \text{para todo } j,k \quad (20)$$

$$c_{j,k,t} \in \{0,1\} \quad \text{para todo } j,k,t \quad (21)$$

Cada equação acima representa uma restrição conforme segue: (14) precisamente um tempo da soma não seja nulo; (15) a tarefa j deve ser processada na máquina k no tempo t , se e somente se for completa em algum instante entre $t \in [t + P_{j,k} - 1]$; (16) o *makespan* deve garantir a conclusão de cada tarefa; (17) nenhuma tarefa pode começar enquanto não chegar ao *shop*; (18) o instante de conclusão da tarefa j na máquina k deve ser no mínimo igual ao instante de conclusão na máquina $(k-1)$ acrescido do tempo de processamento na máquina k ; (19) uma máquina não pode processar mais de uma tarefa por vez (MORTON E PENTICO; 1993).

2.5 Validação do modelo matemático

Para Pidd (2000), os modelos matemáticos devem representar a realidade, ou parte dela, da mesma forma o autor considera que a validação deve ser a checagem do comportamento do modelo no mundo real, sob as mesmas restrições. Desta forma, se ele se comporta considera-o válido, caso contrário, não é válido.

Segundo Chwif e Medina (2010), existem duas premissas muito importantes quanto à validação: (i) não há como validar um modelo em 100%, ou garantir que ele seja 100% válido. O que conseguimos é aumentar a confiança ou até mesmo acreditar que o modelo possa representar satisfatoriamente o sistema, (ii) não há como garantir que o modelo esteja livre de elementos que causem o seu mau funcionamento, como falta de energia elétrica, máquinas estragadas, etc.

Chwif e Medina (2010) apresentam algumas técnicas de validação:

- a) Análise de sensibilidade: determina qual a influência de alterações dos parâmetros de entrada sobre os resultados obtidos com o modelo. Deste modo pode-se identificar quais parâmetros são mais críticos para o modelo, ou seja, o modelo é sensível a quais parâmetros, e assim concentrarmos nossa atenção para estes pontos “críticos”.
- b) Validação “face a face”: é o tipo de validação em que a pessoa que construiu o modelo discutirá os resultados com quem realmente vive no dia-a-dia e que

realmente entende do processo. Esse tipo de validação também pode ser conceituado de validação operacional (resultados do modelo).

Os dados históricos podem ser utilizados para calibrar o modelo, representando o ocorrido durante o ano. Consequentemente, o resultado obtido com o modelo deverá ser compatível com o seu desempenho. Neste cenário é importante avaliar possíveis resultados “discrepantes” nos dados coletados do sistema real, pois deve-se seguir a máxima, “os dados nunca são dados”, ou seja, resultados totalmente fora da realidade podem indicar a não validade do modelo ou a não veracidade dos dados informados ou coletados (CHWIF; MEDINA, 2010).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No Capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada para atingir os objetivos dessa monografia, composta pelo delineamento da pesquisa, planejamento do método, coleta e tratamento dos dados.

3.1 Delineamento da pesquisa

Quanto a sua abordagem, este estudo tem seu enfoque quantitativo. Para Sampieri (2006), toda pesquisa com enfoque quantitativo admite que tudo pode ser quantificável (traduzido em números) utilizando coleta de dados para, posteriormente, classifica-los e analisa-los, afim de responder as questões do estudo.

O presente estudo é descritivo (descreve o processo de produção como tal) e exploratório (sugeri propostas de melhorias). Conforme Sampieri (2006), os trabalhos descritivos especificam propriedades, perfis e características de qualquer ordem ou fenômeno, medindo e avaliando, realizando coletas de dados sobre diversos aspectos e dimensões. Segundo Malhotra (2001), o estudo exploratório é identificado pela formulação prévia de hipóteses, um estudo pré-planejado.

Quanto aos procedimentos técnicos, esta monografia consisti em um estudo de modelagem e um estudo de caso, que, segundo Gil (2008), consiste no estudo profundo e detalhado dos objetivos, de maneira que permita seu amplo e detalhado

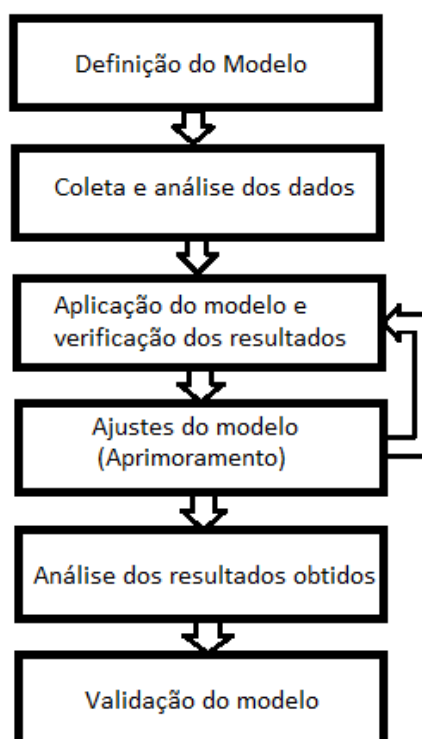
conhecimento. Para Mattar (2005), todo estudo de caso torna-se muito produtivo, pois estimula a compreensão das questões para a pesquisa.

Para o desenvolvimento desta monografia, foram coletadas e examinadas informações anteriormente registradas, quanto aos históricos de produtividade obtidos no sistema de produção atual, no que tange os objetivos deste estudo.

3.2 Planejamento do método

Conforme Galliano (1979), método é um conjunto de etapas com o objetivo de alcançar um determinado fim. Para Lakatos e Marconi (1991), é o conjunto de atividades sistemáticas e racionais, que traçam o caminho a ser seguido em busca do objetivo pré-definido. O método adotado para a elaboração do presente estudo inclui as etapas conforme será apresentado na Figura 09.

Figura 9 - Fluxograma do estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Conforme a Figura 9, a definição do modelo é dada de acordo com os objetivos do estudo.

A coleta de dados é uma das etapas que exige um grande volume de tempo, dedicação e trabalho, de modo a reunir todas as informações necessárias, onde a organização cuidadosa da técnica e sua elaboração por instrumentos adequados assume uma importância significativa para o alcance dos objetivos (CHIZZOTTI, 2005).

Para Sampieri (2006), a coleta de dados implica algumas atividades que podem estar vinculadas entre si, como é o caso da escolha do instrumento ou método de coleta de dados que seja válido e confiável, aplicação desse instrumento ou método, obtendo observações, registros e medições, assim como sua preparação para que sejam analisadas de forma correta.

Nesta monografia, o levantamento dos dados quantitativos foi realizada através de cronometragens das etapas de produção em cada máquina ou processo.

Com as informações necessárias reunidas, foram aplicadas no modelo e realizado a verificação dos resultados.

Caso os resultados obtidos não sejam satisfatórios ou o modelo não encontrar uma solução ótima para o problema, serão realizados ajustes voltando à etapa anterior para aprimorar o modelo.

Após a obtenção da solução otimizada e que atenda os objetivos para este estudo, esta será apresentada e comparada (mensurada) com os resultados obtidos anteriormente, com a finalidade de validar o modelo proposto.

4 MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA A PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

No Capítulo 4 é apresentado o modelo matemático de programação linear definido no estudo de caso e os resultados obtidos a partir da coleta de dados, que compuseram os dados de entrada do modelo.

4.1 Definição do modelo matemático de programação linear

Com base no estudo dos modelos de programação da produção, o modelo matemático proposto para este trabalho é apresentado da seguinte forma:

$$MAX MCT = \sum_{i=1}^n \cdot \sum_{j=1}^n \cdot MC_{\mu i} \cdot X_{i j} \quad (22)$$

Sujeito as seguintes restrições:

$$X_{i j} \leq QMP_{i j} \quad (23)$$

$$T_i \cdot X_{i j} \leq TH_i \quad (24)$$

$$\sum_{j=1}^n \cdot X_{i j} \geq D_i \quad (25)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad (26)$$

Onde:

MCT – margem de contribuição total semanal.

$MC_{\mu i}$ – margem de contribuição unitária cada produto i .

X_{ij} – quantidade a ser produzida de cada produto i no dia j .

QMP_{ij} – capacidade máxima de fornecimento de matéria prima de cada produto i em cada dia j .

T_i – tempo padrão unitário de cada produto i .

TH_i – tempo máximo disponível em cada processo que passe o produto i .

D_i – demanda mínima semanal a ser produzida de cada produto i .

Para este trabalho, a função objetivo considerada no modelo foi a maximização da margem de contribuição, pois além de programar a produção ela apresenta através da otimização de seus recursos, qual será o seu maior ganho financeiro. Esta é representada pela Equação 22, que tem seu resultado gerado através do produto do somatório dos produtos i , com o somatório dos dias de semana j , com a margem de contribuição unitária de cada produto i , e com a quantidade de cada produto i em cada dia da semana j .

O conjunto de equações que formam as restrições do modelo é apresentado da seguinte forma: a Equação 23, que trata do fornecimento da matéria prima, define que a quantidade máxima a ser produzida de cada produto i em cada dia j , seja menor ou igual à quantidade máxima de fornecimento de matéria prima de cada produto i , em cada dia j . A Equação 24, diz respeito à capacidade horária máxima de cada processo, onde o produto do tempo padrão unitário de cada produto i , com a quantidade a ser produzida de cada produto i no dia j , seja menor ou igual ao tempo máximo disponível em cada processo que passe o produto i . A Equação 25, trabalha a demanda mínima que é o produto do somatório de cada dia j , com a quantidade a ser produzida de cada produto i no dia j , de forma maior ou igual à demanda mínima

semanal a ser produzida de cada produto i . A Equação 26 representa que a quantidade a ser produzida do produto i , no dia j , não seja negativa.

4.2 Dados de entrada para aplicação do modelo de programação linear

O levantamento dos dados foi realizado de três formas: (i) através dos dados históricos de entrada máxima de matéria prima de cada produto; (ii) através de cronometragens (horas) e pesagens (quilos) de cada processo ou cada máquina, para definir o tempo (horas) para cada quilograma de produto; (iii) através de dados históricos de demanda de cada produto nas últimas cinquenta e duas semanas, de modo a definir a demanda média semanal de cada produto, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Levantamento de dados

Operação	Produto	Tempo por batelada (horas)	Capacidade máxima da batelada (Kg)	Tempo unitário de produção (hora/kg)
Sala descanso / câmara fria	Presunto	24	6.400	0,0038
Injetora	Bacon	1,7	2.500	0,0007
Injetora	Presunto	1,7	1.800	0,0009
Homogeneização do tempero	Presunto	3,8	1.800	0,0021
Maturação	Presunto	6	1.800	0,0033
Embalar	Presunto	1,8	1.800	0,001
Ajuste de peso	Presunto	2	1.800	0,0011
Grampeadeira	Presunto	2,8	1.800	0,0016
Pendura	Bacon	2	2.500	0,0008
Enformar	Presunto	1,1	1.800	0,0006
Cozimento	Presunto	5	1.800	0,0028
Resfriar no tanque	Presunto	6	1.800	0,0033
Desenformar	Presunto	1,1	1.800	0,0006
Defumação	Bacon	9,2	2.000	0,0046
Resfriar na Câmara fria	Bacon	2,5	2.500	0,001
Embalar	Bacon	1,7	2.500	0,0007

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A Tabela 3 demonstra os resultados obtidos com as medições de tempo e quilogramas de cada batelada, de modo a definir os tempos de cada processo ou máquina para elaboração de cada quilograma de produto. O resultado em horas para cada 1 kg de produto foi definido pela divisão do tempo por batelada, com os quilogramas máximos de cada batelada.

As quantidades máximas de fornecimento diário de matérias primas para o produto bacon e presunto, obtidas pelos dados históricos para cada produto é 7.000 kg e 9.000 kg, respectivamente.

A demanda média semanal dos produtos bacon e presunto, obtidos através dos dados históricos de vendas representam 18.793,6 kg e 20.029,2 kg, respectivamente.

5 APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados do modelo matemático de PL simulando a utilização da capacidade máxima do processo produtivo dos produtos bacon e presunto, bem como a validação do modelo e análise dos resultados obtidos a partir de sua aplicação, comparando-o com os resultados que o processo atual gera.

5.1 Simulação do modelo para identificar capacidade e limitantes de produção

Após serem lançados os dados no Solver, este apresentou os resultados ótimos de produção de cada produto em cada dia da semana, assim como a margem de contribuição semanal total, como segue no quadro 4.

Quadro 3 - Matriz de resultados do modelo de programação linear na programação diária.

Matriz xij	Segunda-feira (j=1)	Terça-feira (j=2)	Quarta-feira (j=3)	Quinta-feira (j=4)	Sexta-feira (j=5)	Demanda semanal
Bacon (i=1)	4956,52	4956,52	4956,52	4956,52	4956,52	24782,61
Presunto (i=2)	6315,79	6315,79	6315,79	6315,79	6315,79	31578,95
MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO TOTAL SEMANAL DOS PRODUTOS BACON E PRESUNTO				R\$ 13.504,81		

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Conforme o Quadro 3, todas as restrições e condições de adequação foram satisfeitas, demonstrando a programação da produção na seguinte apresentação: para maximizar a margem de contribuição total semanal em R\$13.504,81, a linha de produção da Agroindústria deveria produzir na segunda-feira 4.956,52 kg do produto bacon e 6.315,79 kg do produto presunto, repetindo a mesma produção nos demais dias da semana, podendo desta forma atingir uma demanda semanal máxima de 24.782,61 kg de bacon e 31.578,95 kg de presunto.

A projeção de desempenho da programação, obtida com o resultado do modelo, é apresentada nas tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 – Utilização da capacidade de fornecimento de matéria-prima.

Produto	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Média
Bacon	71%	71%	71%	71%	71%	71%
Presunto	70%	70%	70%	70%	70%	70%

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Observa-se na Tabela 4 que o fornecimento de matéria-prima não representa um limitante de produção (gargalo), pois na média não atinge 100% de sua capacidade de utilização.

Tabela 5 – Utilização da capacidade de cada processo ou máquina para o produto bacon.

Operação/dia da semana	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Média
Injetora	61%	61%	61%	61%	61%	61%
Pendura	26%	26%	26%	26%	26%	26%
Defumação	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Câmara de resfriamento	21%	21%	21%	21%	21%	21%
Embalagem	23%	23%	23%	23%	23%	23%

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Quanto à capacidade máxima de cada processo ou máquina, o programa identificou que existe um limitante de produção (gargalo de produção), que define o máximo que pode ser produzido em quilos, em cada dia. Isso é definido, neste caso, pela utilização de 100% da capacidade máxima de horas disponíveis para o processo de defumação.

Tabela 6 – Utilização da capacidade de cada processo ou máquina para o produto presunto.

Operação/dia da semana	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Média
Sala de descanso	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Injetora	61%	61%	61%	61%	61%	61%
Homogeneização	69%	69%	69%	69%	69%	69%
Maturação	87%	87%	87%	87%	87%	87%
Embalagem	42%	42%	42%	42%	42%	42%
Pesagem	46%	46%	46%	46%	46%	46%
Grampeadeira	67%	67%	67%	67%	67%	67%
Enformar	25%	25%	25%	25%	25%	25%
Cozimento	74%	74%	74%	74%	74%	74%
Tanque de resfriar	87%	87%	87%	87%	87%	87%
Desinformar	25%	25%	25%	25%	25%	25%

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Para a produção de presunto, observa-se na tabela acima que o limitante de produção (gargalo de produção) apresenta-se na utilização de 100% da capacidade máxima de horas da sala de descanso.

Quanto à utilização da capacidade de produção em quilogramas semanal, o programa demonstrou que a capacidade de produção do produto bacon é 32% superior à sua demanda média semanal.

Para o produto presunto, a utilização da capacidade de produção em quilogramas semanal, o programa demonstrou que é 58% superior à sua demanda média semanal.

5.2 Validação do modelo matemático

Com a finalidade de validar o modelo proposto neste trabalho, foram analisados os dados históricos de produção real nas cinco semanas do mês de março de 2016, estes mesmos dados foram inseridos no modelo proposto e assim verificado a veracidade dos resultados obtidos.

A função objetivo deste modelo matemático de programação linear, como já citado no subcapítulo 4.1, refere-se à maximização da margem de contribuição. A

tabela 7, demonstra o resultado gerado através do modelo, comparando-o com realizado na Agroindústria.

Tabela 7 – Comparação de resultados pela função objetivo

Semana	1	2	3	4	5	Média
Modelo	R\$ 8.325,95	R\$ 8.380,38	R\$ 5.955,70	R\$ 7.709,21	R\$ 9.404,70	R\$ 7.955,19
Proc. Atual	R\$ 8.325,95	R\$ 8.380,38	R\$ 5.955,70	R\$ 7.709,21	R\$ 9.404,70	R\$ 7.955,19

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Com a Tabela 7, observa-se que o resultado obtido em sua função objetivo, através do modelo, quando comparado com o resultado dos dados históricos de produção, tem-se os mesmos resultados, isso faz com que exista uma representação da realidade, uma vez que seu comportamento no mundo real não apresenta discrepâncias, assim como demonstra seu resultado compatível com o seu desempenho.

Outro ponto muito importante que tornou este modelo válido foi a utilização da técnica de validação “face a face” ou conceituada como validação operacional, onde reuniu-se todos os envolvidos no processo de produção do bacon e presunto da Agroindústria e foi apresentado os resultados obtidos, as restrições, bem como os processos e máquinas que limitam a produção destes produtos. De forma geral, todos os envolvidos no dia-a-dia da produção manifestaram-se satisfeitos, gerando confiança ao modelo proposto e desta forma, permitindo a continuidade do trabalho e suas análises.

5.3 Aplicação do modelo matemático

Como já apresentado no subcapítulo anterior, a margem de contribuição nessa situação não se alterou, porém, o modelo otimizou os recursos da linha de produção do bacon e presunto de modo a programar as ordens de produção conforme segue a Tabela 8.

Tabela 8 – Programação da produção do modelo versus programação real

	Segunda-feira		Terça-feira		Quarta-feira		Quinta-feira		Sexta-feira		Produção total semanal (kg)	
(Semana 1)	Proc. Atual	Modelo	Proc. Atual	Modelo	Proc. Atual	Modelo	Proc. Atual	Modelo	Proc. Atual	Modelo	Proc. Atual	Modelo
Bacon	2861	4956,52	5000,43	4956,52	4936,85	4956,52	136	4034,72	5970	0	18904,28	18904,28
Presunto	4283	6315,79	2673	3709,62	2970	0	1808,4	0	4606,8	6315,79	16341,2	16341,2
(Semana 2)												
Bacon	4168,7 ₁	4956,52	1991,84	4956,52	5505,79	4956,52	4142,71	4956,52	4053,65	36,62	19862,7	19862,7
Presunto	4356	6315,79	1861,2	3096,22	1412,4	0	5068,8	0	3029,4	6315,79	15727,8	15727,8
(Semana 3)												
Bacon	4260,6 ₈	4956,52	3220,18	4956,52	2700	4956,52	3974,7	3419,61	4133,61	0	18289,17	18289,17
Presunto	1650	1261,01	0	0	1702,8	0	2409	0	1815	6315,79	7576,8	7576,8
(Semana 4)												
Bacon	4713,2 ₃	4956,52	5551,49	4956,52	4191,18	4956,53	3954,65	3540,98	0	0	18410,55	18410,55
Presunto	2145	6315,79	4164,6	1717,02	5920,2	0	2118,8	0	0	6315,79	14348,6	14348,6
(Semana 5)												
Bacon	3613,8 ₁	4956,52	3735,66	4956,52	3140,49	4956,52	1746,53	989,77	3622,86	0	15859,35	15859,33
Presunto	4699,2	6315,79	3451,8	6315,79	6315,79	4251,22	4890,6	0	3841,2	6315,79	23198,59	23198,59

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Na Tabela 8 estão representados os resultados do processo atual de cada dia da semana, nas cinco semanas e ao lado está o resultado da programação obtido através do modelo.

O modelo otimizou os recursos disponíveis diários, reorganizando a produção de modo que em alguns dias da semana, não haveria a necessidade de produção do bacon ou presunto, ou até mesmo dos dois produtos. As tabelas 9, 10 e 11 apresentam de que modo o modelo otimizou os recursos em cada dia das cinco semanas avaliadas.

Tabela 9 - Utilização da capacidade de fornecimento de matéria-prima nas semanas avaliadas.

Produto	Dia da semana	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Média
Bacon	Segunda-feira	71%	71%	71%	71%	71%	71%
	Terça-feira	71%	71%	71%	71%	71%	71%
	Quarta-feira	71%	71%	71%	71%	71%	71%
	Quinta-feira	58%	71%	49%	51%	14%	49%
	Sexta-feira	0%	1%	0%	0%	0%	0%
Presunto	Segunda-feira	70%	70%	14%	70%	70%	59%
	Terça-feira	41%	34%	0%	19%	70%	33%
	Quarta-feira	0%	0%	0%	0%	47%	9%
	Quinta-feira	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Sexta-feira	70%	70%	70%	70%	70%	70%

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Observa-se na Tabela 9 que, na média, nenhuma das cinco semanas avaliadas utilizou sua capacidade máxima de fornecimento de matéria-prima.

Tabela 10 - Utilização da capacidade de cada processo ou máquina.

Processo	Dia da semana	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Média
Sala de descanso	Segunda-feira	100%	100%	20%	100%	100%	84%
	Terça-feira	59%	49%	0%	27%	100%	47%
	Quarta-feira	0%	0%	0%	0%	67%	13%
	Quinta-feira	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Sexta-feira	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Injetora	Segunda-feira	61%	61%	30%	61%	61%	55%
	Terça-feira	45%	41%	23%	33%	61%	41%
	Quarta-feira	23%	23%	23%	23%	48%	28%
	Quinta-feira	19%	23%	16%	16%	5%	16%
	Sexta-feira	38%	38%	38%	38%	38%	38%
Homogeneização	Segunda-feira	69%	69%	14%	69%	69%	58%
	Terça-feira	40%	34%	0%	19%	69%	32%
	Quarta-feira	0%	0%	0%	0%	46%	9%
	Quinta-feira	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Sexta-feira	69%	69%	69%	69%	69%	69%
Maturação	Segunda-feira	87%	87%	17%	87%	87%	73%
	Terça-feira	51%	43%	0%	24%	87%	41%
	Quarta-feira	0%	0%	0%	0%	58%	12%
	Quinta-feira	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Sexta-feira	87%	87%	87%	87%	87%	87%
Embalagem	Segunda-feira	42%	42%	8%	42%	42%	35%

(Continua...)

(Continuação)

Processo	Dia da semana	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Média
Pesagem	Terça-feira	25%	20%	0%	11%	42%	20%
	Quarta-feira	0%	0%	0%	0%	28%	6%
	Quinta-feira	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Sexta-feira	42%	42%	42%	42%	42%	42%
	Segunda-feira	46%	46%	9%	46%	46%	39%
Grampeadeira	Terça-feira	27%	23%	0%	12%	46%	22%
	Quarta-feira	0%	0%	0%	0%	31%	6%
	Quinta-feira	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Sexta-feira	46%	46%	46%	46%	46%	46%
	Segunda-feira	67%	67%	13%	67%	67%	56%
Pendura	Terça-feira	39%	33%	0%	18%	67%	31%
	Quarta-feira	0%	0%	0%	0%	45%	9%
	Quinta-feira	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Sexta-feira	67%	67%	67%	67%	67%	67%
	Segunda-feira	26%	26%	26%	26%	26%	26%
Enformar	Terça-feira	26%	26%	26%	26%	26%	26%
	Quarta-feira	26%	26%	26%	26%	26%	26%
	Quinta-feira	21%	26%	18%	19%	5%	18%
	Sexta-feira	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Segunda-feira	2%	25%	5%	25%	25%	16%
Cozimento	Terça-feira	15%	12%	0%	7%	25%	12%
	Quarta-feira	0%	0%	0%	0%	17%	3%
	Quinta-feira	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Sexta-feira	25%	25%	25%	25%	25%	25%
	Segunda-feira	74%	74%	15%	74%	74%	62%
Tanque de resfriamento	Terça-feira	43%	36%	0%	20%	74%	35%
	Quarta-feira	0%	0%	0%	0%	50%	10%
	Quinta-feira	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Sexta-feira	87%	87%	87%	87%	87%	87%
	Segunda-feira	25%	25%	5%	25%	25%	21%
Desinformar	Terça-feira	15%	12%	0%	7%	25%	12%
	Quarta-feira	0%	0%	0%	0%	17%	3%
	Quinta-feira	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Sexta-feira	25%	25%	25%	25%	25%	25%
	Segunda-feira	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Defumação	Terça-feira	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Quarta-feira	100%	100%	100%	100%	100%	100%

(Continua...)

(Continuação)

Processo	Dia da semana	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Média
	Quinta-feira	81%	100%	69%	71%	20%	68%
	Sexta-feira	0%	1%	0%	0%	0%	0%
Câmara de resfriamento	Segunda-feira	21%	21%	21%	21%	21%	21%
	Terça-feira	21%	21%	21%	21%	21%	21%
	Quarta-feira	21%	21%	21%	21%	21%	21%
	Quinta-feira	17%	21%	14%	15%	4%	14%
	Sexta-feira	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Embalagem	Segunda-feira	23%	23%	23%	23%	23%	23%
	Terça-feira	23%	23%	23%	23%	23%	23%
	Quarta-feira	23%	23%	23%	23%	23%	23%
	Quinta-feira	19%	23%	16%	16%	5%	16%
	Sexta-feira	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Observa-se com a Tabela 10 que se aplicado o modelo, a produção de bacon e presunto, na média das cinco semanas avaliadas, não apresenta um limitante de produção, mas sim uma programação que otimiza a produção em cada semana. Nas semanas avaliadas, o resultado gerado pelo sistema atual de programação excedeu o limite de capacidade na sexta-feira da primeira semana, na quarta-feira da segunda semana e na terça-feira da quarta semana, atingindo 120%, 111% e 112%, respectivamente. Através de verificações destes resultados, constatou-se que isso ocorreu devido a manutenções da máquina de defumar, uma vez que o tempo de defumação nestes dias foi reduzido, de modo a dispor tempo hábil para manutenção. Isso fez com que o procedimento operacional padrão fosse alterado somente nestes dias.

Com a programação da produção visualizada através do modelo, as manutenções das máquinas também podem ser programadas, de modo a não interferir nas quantidades produzidas e, até mesmo sem gerar horas extras em alguns dias da semana e em outros dias a linha estar ociosa.

Tabela 11 - Utilização da capacidade de produção.

Produto	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Média
Bacon	101%	106%	97%	98%	84%	97%
Presunto	82%	79%	38%	72%	116%	77%

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

O programa demonstrou na Tabela 11 que, na média, a produção de bacon e presunto não atinge sua demanda média semanal.

Como o modelo anteriormente demonstrou que a capacidade de produção da agroindústria é superior à sua demanda média em ambos os produtos, com esta informação pode-se até mesmo programar a produção dentro das semanas. Como por exemplo, analisando a tabela 9, quanto a produção de bacon, na semana 3 utilizou apenas 38% de sua capacidade, esta poderia ter sido realocada para as semanas 1, 2 e 4, possibilitando a realização de outras atividades dentro da agroindústria.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o desenvolvimento desta monografia, pode-se considerar que o objetivo geral, assim como os objetivos específicos foram alcançados.

Com relação ao objetivo geral, foi identificado e desenvolvido um modelo matemático de programação linear para a programação de produção na Agroindústria objeto deste estudo, na linha de produção do bacon e presunto.

Da mesma forma, os objetivos específicos também foram atingidos, uma vez que buscou-se na literatura, obras de autores relacionadas aos termos pertinentes para o estudo, de forma a desenvolver o conhecimento com base teórica.

Foram apresentados modelos de programação linear para otimização da programação de produção, e dentre eles, foi definido o modelo a ser utilizado, assim como a apresentação e análise dos resultados que o modelo apresentou, confrontando com o resultado que o processo atual gera, propondo ações e justificando o uso do modelo matemático de PL, para a programação de sua produção, como segue:

- Caso a Agroindústria produza de forma a atingir sua capacidade total de produção e sua demanda ainda seja superior, recomenda-se, com base nos resultados do modelo, que a atenção maior, em um primeiro momento seja

para o bacon – o processo de defumação e, para o presunto – a sala de descanso, pois estes processos limitam a capacidade de produção.

- O modelo pode programar a produção de acordo com a demanda de cada produto, portanto, é importante que a Agroindústria tenha bem definido sua demanda real para cada dia ou semana. Isso permite através do modelo, definir uma produção em quantidades uniformes de cada produto em cada dia, conseqüentemente, os volumes que chegam ao estoque também poderão ser previamente informados, facilitando a organização.
- O modelo proporciona à empresa uma ferramenta para o PCP, que auxilia na visualização das decisões, permitindo desenvolver uma programação de produção alinhada as quantidades necessárias de produção de cada produto em cada dia da semana.
- No caso de paradas, como por exemplo, feriados, as quantidades produzidas a menos podem ser simuladas no modelo (e também aplicadas), identificando-se a possibilidade de recuperar a produção nos demais dias da semana.
- Permite visualizar a real capacidade de utilização de cada processo ou máquinas e produção.
- Permite conhecer a capacidade real de produção, reduzindo o risco de falta de produtos por contratos fixados com os clientes.
- O modelo pode ser facilmente adaptado e aplicado às demais linhas de produtos da Agroindústria, possibilitando conhecer a real capacidade produtiva.
- A utilização dos recursos da planilha eletrônica do Excel e do seu suplemento Solver para o trabalho se deu: (i) pela facilidade de manipulação dos dados pelo usuário, (ii) tanto a planilha de Excel, quanto seu suplemento Solver, estão disponíveis em todos os computadores, (iii) os resultados obtidos são de fácil interpretação. Desta forma seria importante que as pessoas que auxiliam ou são responsáveis pelo PCP utilizassem esta ferramenta de auxílio.

Neste trabalho a margem de contribuição permaneceu igual, tanto com a aplicação do modelo, quanto com o resultado que o processo atual gera, isso ocorreu porque para a aplicação do modelo se utilizou a mesma produção das

semanas avaliadas nas duas situações. No entanto os recursos utilizados no processo foram otimizados.

De modo geral, o modelo de programação linear para a programação da produção é aplicável e gerou uma ferramenta de suporte às decisões de curto prazo, que fornecesse subsídios fundamentados na real capacidade de produção, contribuindo diretamente para o sucesso do PCP.

Este estudo teve seu foco principal em desenvolver um modelo para programação da produção apenas na linha do bacon e do presunto. Este mesmo estudo também pode ser objeto de futuros trabalhos nas demais linhas dos diversos produtos da agroindústria, podendo otimizar de forma geral sua produção.

REFERÊNCIAS

- ARENALES, M. et al. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- BAKER, R. K. **“Sequencing and Scheduling”** by K. R. Baker. Hanover, 1997.
- CAIXETA, F. J. V. **Pesquisa operacional, técnicas de otimização aplicadas, a sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001.
- CHASE, R. et al. **Administração da produção para a vantagem competitiva**. 10. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- CHEMIN, Beatris F. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos: planejamento, elaboração e apresentação**. 2. ed. Lajeado: Univates, 2012.
- CHIAVENATO, Idalberto. **Iniciação do planejamento e controle da produção**. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.
- CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. 7. ed. São Paulo: Cortez, 2005.
- CHWIF, Leonardo; MEDINA, C. Afonso. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações**. 3.ed. São Paulo: Editora do Autor, 2010.
- CORRAR, L. J.; THEÓFILO, C. R. **Pesquisa Operacional para a Decisão em Contabilidade e Administração**. São Paulo: Editora Atlas, 2004.
- CORRÊA, Henrique L.; GIANESI, Irineu G.N.; CAON, Mauro. **Planejamento, Programação e Controle da produção: MRP II / ERP: conceitos, uso e implantação**, São Paulo: Atlas, 1997.
- _____. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Atlas, 2011.
- COUTINHO, L.; FERRAZ, J. C. (Coords.). **Estudo da competitividade da indústria brasileira**. 4. ed. Campinas: Papirus Editora, 2002.

DAVIS, Mark M.; AQUILANO, Nicolas J.; CHASE, Richard B. **Fundamentos da administração**. Porto Alegre: Bookman: 2001.

EHRlich, Pierre Jacques. **Pesquisa Operacional**: curso introdutório. São Paulo: Editora Atlas, 1985.

FERNANDES, F. C. F.; GODINHO FILHO, M. **Planejamento e controle da produção**: dos fundamentos ao essencial. São Paulo: Atlas, 2010.

GALLIANO, A. G. O. **Método científico**: teoria e prática. São Paulo: Habra, 1979.

GIL, A. C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. 4. ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2009.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia de pesquisa**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1991.

LISBOA, Erico. **Apostila de Pesquisa Operacional**, 2002.

LUSTOSA, L. et al. **Planejamento e controle da Produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MACCARTHY, B. L.; LIU, Jiyin. Addressing the gap in scheduling research: a review of optimization and heuristic methods in production scheduling. **International journal of production research**. V.31, n.1, p. 59-79, jan. 1993.

MALHOTRA, Naresh. **Pesquisa de Marketing**: uma orientação aplicada. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

MATTAR, Fauze. **Pesquisa de Marketing**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

MEDEIROS, A. L. et al. **Otimização do planejamento produtivo a partir da programação linear**: uma aplicação na pecuária leiteira, In: XI SIMPEP, Bauru, São Paulo, Brasil, 08-10 de novembro de 2004.

MOREIRA, Daniel. **Administração da produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

MORTON, T. E.; PENTICO, D. W. **“Heuristic scheduling systems with applications to production systems and Project management”** by John Wiley e Sons Inc. New York, 1993.

PIDD, Michael. **Tools for thinking**: modelling in management science. 4. ed. Chichester: Joan Wiley e Sons, 2000.

PINEDO, M. **Scheduling**: Theory, algorithms, and systems. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

PIZZOLATO, N. D.; GANDOLPHO, A. A. **Técnicas de Otimização**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PORTER, Michael. **Estratégia competitiva**: técnicas para análise das indústrias e da concorrência. 7. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

PRADO, Darci Santos do. **Programação Linear**. Belo Horizonte: DG, 1999.

_____. **Programação Linear**. 6. ed. Nova Lima (MG): INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2012.

ROCHA, D. **Fundamentos técnicos da produção**. São Paulo: Makron Books, 1995.

RUSSOMANO, V. H. **Planejamento e controle da produção**. 5. ed. São Paulo: Pioneira, 1995.

SAMPIERI, R. et al. **Metodologia de pesquisa**. 2. ed. São Paulo: McGraw-hill, 2006.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TAHA, Hamdy A. **Pesquisa Operacional**: uma visão geral. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

TUBINO, Dalvio F. **Manual de planejamento e controle da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

_____. **Planejamento e controle da produção**: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2008.